

めて行う方法です。そのため、はやぶさ2を打ち上げたときの当初の計画では、リュウグウ到着後の1回目の着陸は、実績のある「はやぶさ方式」での着陸を予定していたそうです。

しかし、「はやぶさ方式」では、ターゲットマーカ―を投下する位置の精度がプラスマイナス50m程の範囲にしか絞り込めなため、100m四方程度の平坦な（着陸しても安全そうな）場所が必要です。ところが実際にリュウ

グウに到着して着陸の候補地を探してみましたが、100m四方という範囲で見ると、「その範囲内のどこに降りても安全」と言える場所はありませんでした。そこで、当初2018年の10月頃に実施する計画だった1回目の着陸を延期し、また着陸の方法もピンポイントタッチダウンで行うことに変更されました。



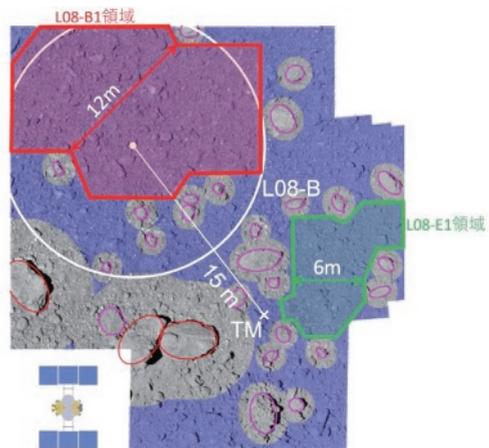
ターゲットマーカ―

はやぶさ2が着陸の目印とするために、小惑星表面へ落とすボール状の装置です。光をよく反射するように、表面を反射テープで覆ってあるので、ストロボを使って撮影することで、小惑星上の岩石の中から簡単に見つけ出すことができます。 ©JAXA

着陸目標地点を詳細調査

はやぶさ2は、2018年10月25日にリュウグウへの高度13mまで降下して、ターゲットマーカ―を投下していました。この時点では、はやぶさ2の着陸目標地点としては、L08-Bと名付けられた半径約10mのエリアでした。しかし、ターゲットマーカ―が落ちた場所は、L08-Bの中心から約15m離れた位置でした。

このターゲットマーカ―の近くへ着陸するために、周辺の地形や岩の大きさが丹念に調べられました。また、降下時の機体の位置と計画した位置とのズレを小さくするために、機体を制御するプログラムを修正したり、リュウグウの形が球から外れているための重力の影響を詳細に検討したりと、精密な誘導を行うための準備が行われました。そして、最終的な着陸目標地点は、L08-E1



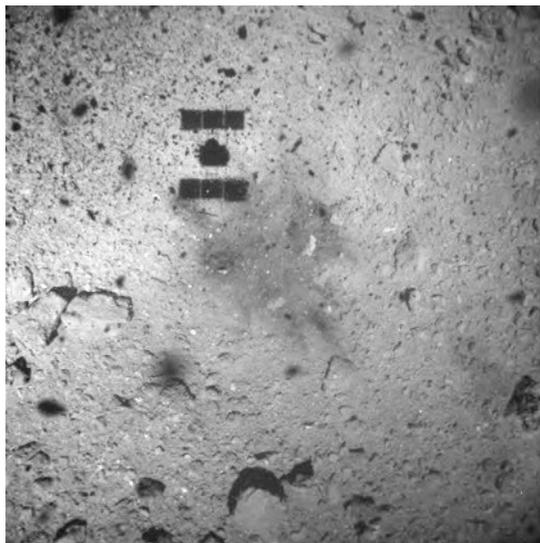
1回目の着陸の候補地L08-B1は広いがターゲットマーカ―から遠い。 ©JAXA

という、幅6mしかない狭いエリアに決定されました。

着陸成功！

はやぶさ2の着陸は、2月22日に行われました。はやぶさ2は2月20日からゆっくりと降下を開始し、計画通り2月22日7:29に、リュウグウに着陸しました。着陸の位置精度は、目標地点からの誤差1mでした。

着陸後の、上昇中に撮影された写真では、着陸地周辺が、周囲よりも黒っぽく変色している様子が写真に収められました。これは、はやぶさ2が離脱するときに噴射したガスにより、表面の岩石が吹き飛ばされた影響かと思われそうですが、吹き飛ばされた跡が周囲よりも黒っぽいというのは、意外なことでした。というのも、リュウグウの岩石は、普通の岩石と比べてかなり黒っぽい岩石なのです。JAXAから公表される写真では、見やすさのために明るさが調整されていてグレーに見えるかもしれませんが、実際は鉛筆の芯に近いほどの黒い岩石なのです。それよりもさらに黒い岩石が現れるとは、あまり考えられていなかった意外なことでした。



着陸を終えて上昇中、高度25mから撮影したリュウグウ表面周。囲より黒っぽく写っている領域がある。

©JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研

計画の変更

着陸の成功を受けて、この後の探査計画の変更が行われました。当初の計画では、2回着陸を行った後、衝突装置を使った人工クレーター形成実験を行い、その後人工クレーターの近くへ3回目の着陸を行う、という計画でしたが、先に衝突装置の運用を行い、その後、可能であれば人工クレーター近くへ着陸を行い、3回目の着陸はキャンセルする方向になりました。

これは、1回目の着陸で、リュウグウ表面の試料の採取に成功した可能性が高いことと、着陸によってカメラのレンズに汚れが付いたと思われる状況が発生したため、その影響調査が終わるまでは着陸を行わず、先に衝突装置の運用を行うことにした、と

のことでした。

また、リュウグウは、太陽との距離が大きく変化するだ円軌道にあります。2019年の当初は、リュウグウと太陽の距離が遠かったのですが、徐々にリュウグウと太陽の距離は近づいていき、リュウグウの表面温度が高くなるため、着陸は7月頃までに終わらせたい、というタイムリミットも存在していました。

衝突装置の運用

衝突装置は、弾丸を発射して、小惑星表面に人工的にクレーターを作る装置です。リュウグウ表面の岩石は、太陽からの熱や紫外線・宇宙線などの影響によって、ももとの岩石と比べて、変質していることが予想されます。その変質した岩石を弾き飛ばすことによって、その下にある変質していない岩石を表面に露出させることができれば、そこへ着陸して、変質していない岩石のサンプルを採取しようという計画です。

人工クレーターができたかどうかは、弾丸発射前のリュウグウ表面の写真と、弾丸発射後の表面の写真とを見比べてクレーターを探します。そこで、衝突装置の目標地点付近の詳細な写真を事前に撮影しておきます。この撮影のための降下が、3月21日から22日にかけて行われました。

本番の衝突装置の運用は、4月4日から5日にかけて行われました。衝突装置の弾丸が発射されるときには、はやぶさ2は、飛び散った破片にぶつからないように、安全な位置に退避しています。しかし、それでは、弾丸が本当にリュウグウに当たったか観察することができないので、衝突装置の成功を見届けるためのカメラ(DCAM3)を切り離し、DCAM3が衝突の瞬間を捉えます。衝突装置の運用は成功し、4月5日のうちに、DCAM3によって捉えられた画像が公開されました。

さらに、人工クレーターを探すための降下が4月24日か



DCAM3が捉えた、衝突装置によりリュウグウ表面から放出された物質

©JAXA, 神戸大, 高知大, 千葉工大, 産業医科大

ら25日に実施され、首尾よく人工クレーターが発見されました。計画段階の想定では、人工クレーターの大きさは直径2~3m程度の大きさになるかと考えられていましたが、実際に発見された人工クレーターは直径10mを超える大きさで、想定よりもリュウグウの岩石はもろい性質のものであることが示唆されました。



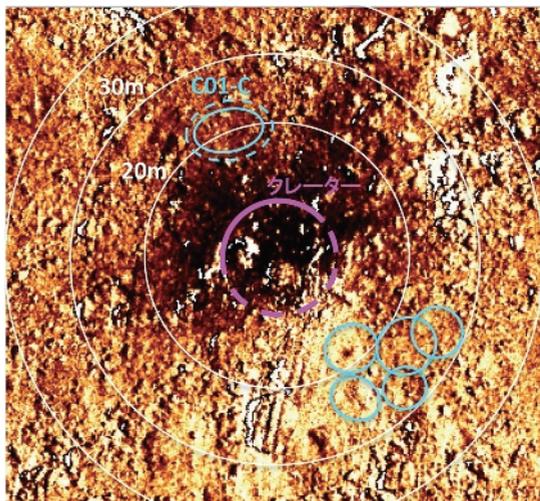
左)衝突装置運用前の地形 右)衝突装置運用後に発見された人工クレーター

©JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研

また、人工クレーター周辺は、周囲より黒っぽい色合いに写りました。リュウグウ表面での変質を受けた岩石の方が色が明るく、変質していない岩石の方が黒っぽい色であることがはっきりしました。

2回目の着陸へ

人工クレーターの生成成功を受けて、人工クレーター周辺への着陸を目指して、周辺の状況調査などのための降下観測が行われました。5月14日から16日にかけての降下では、当初ターゲットマーカを投下する予定でしたが、高度計の距離計測に問題が生じたため、ターゲットマーカを投下せず、周辺の写真撮影のみが行われました。続いて、5月28日から30日にかけて再度降下を行い、C01-Cというエリアへのターゲットマーカの投下に成功しました。さらに、6月11日から13日にかけて、再度C01-C周辺から人工クレーターにかけての詳細な写真撮影が行われました。



人工クレーター周辺の放出物の分布。衝突装置運用の前後の写真の色合いの違いを色の濃さで表現。色の濃いところほど、放出物が多く積もったと予想される。人工クレーターから画面左上側に放出物が多く放出されている。

©JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研

また、地形の調査とあわせて、C01-Cへの着陸を安全に行うことができるかどうかの検討も行われました。特に、1回目の着陸で、カメラに汚れが付着したと考えられることについて、そのことによってターゲットマーカの識別など探査機の誘導に支障がないか、2回目の着陸でさらに汚れが増えてしまった場合でも今後の探査に支障がないか、などの検討が行われ、2回目の着陸を行うことが決定されました。



2回目の着陸の後、上昇中の画像 ©JAXA

2回目の着陸は、7月11日から13日にかけて行われました。これまでの何回もの降下の経験を生かして機体の制御も精密化され、目標地点から誤差わずか60cmの位置へ着陸を行うことができました。

ミネルバII2の放出

無事に2回の着陸を終えたはやぶさ2には、まだ小型探査ロボットのミネルバII2が残されていました。ミネルバII2は、小惑星表面に着陸して表面の様子を撮影するための小型ロボットですが、内部でのデータ処理に問題が生じていて、撮影したデータをはやぶさ2に送信できない状態でした。

そこで、ミネルバII2の任務を変更し、あえて高い高度からミネルバII2を切り離し、その落下軌道を観測することで、リュウグウの重力場を詳細に観測することになりました。また、このミネルバII2の放出前の9月17日に、リハーサルとして、2つのターゲットマーカを切り離してリュウグウを周回させながら投下することが行われました。また、10月3日にはミネルバII2の切り離しが行われました。いずれもリュウグウを周回する様子が観測され、人類初の小惑星に対する人工衛星となりました。

地球帰還へ

はやぶさ2は2019年の11月から12月頃に小惑星リュウグウの軌道を離脱し、地球へ帰還する軌道に移る予定です。地球への帰還は2020年の終わりごろ、初代はやぶさと同じように、オーストラリアのウーメラ地域に帰還カプセルを投下する計画です。リュウグウの「黒い石」が一体どんなものなのか、帰還カプセルが無事に地球に戻ってくることを楽しみに待ちたいと思います。

飯山 青海(いいやま おおみ)科学館学芸員